

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ СДВИГА ПРИ РЕЗАНИИ С МИКРОСКОРОСТЯМИ

Г. Л. КУФАРЕВ, М. Г. ГОЛЬДШМИДТ, В. А. ГОВОРУХИН, Ф. К. ПЛЕШАКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр
станков и резания металлов и технологии машиностроения)

Под силой сдвига при резании понимается сила P_τ , действующая вдоль верхней границы зоны пластической деформации и определяющая степень пластической деформации металла стружки. С достаточно высокой степенью точности сила сдвига определяется уравнением

$$P_\tau = \tau \cdot \frac{a \cdot b}{\sin \Phi}, \quad (1)$$

где

τ — касательное напряжение на верхней границе зоны пластической деформации;

a, b — толщина и ширина срезаемого слоя;

Φ — угол, определяющий направление верхней границы зоны пластической деформации.

Если полагать известной величину усадки стружки ξ , то угол Φ определится зависимостью

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{\cos \gamma}{\xi - \sin \gamma}, \quad (2)$$

где γ — передний угол резца.

В такой постановке задача определения силы сдвига сводится к определению касательного напряжения τ при известной степени деформации металла стружки. Степень деформации металла в процессе резания следует оценивать либо величиной относительного сдвига [1],

$$\varepsilon = \frac{\xi^2 - 2\xi \cdot \sin \gamma + 1}{\xi \cdot \cos \gamma}, \quad (3)$$

либо величиной интенсивности деформации e_i .

Поскольку деформация в процессе резания осуществляется по схеме простого сдвига, то относительный сдвиг численно равен истинному сдвигу [2], и тогда интенсивность деформации при резании следует определять по зависимости [3].

$$e_i = \frac{\varepsilon}{\sqrt{3}}. \quad (4)$$

При этом можно отметить, что процесс простого сдвига является одним из видов сложного нагружения, а поэтому величина e_i , определяемая в общем случае интегрированием производной интенсивности деформации, значение которой зависит от производных девяти компонентов тензора деформации, по параметру, определяющему изменение тензора напряжений, наиболее полно отражает физическое содержание процесса деформации.

Обобщающей характеристикой напряженного состояния материала в любом процессе деформации является интенсивность напряжений — σ_i . Для случая плоской деформации она связана [4] с величиной интенсивности касательных напряжений K зависимостью

$$\sigma_i = \sqrt{3} \cdot K.$$

Верхняя граница пластически деформированной зоны при резании является линией скольжения, для которой справедливо равенство $K = \tau$. Тогда

$$\sigma_i = \sqrt{3} \tau \quad \text{или} \quad \tau = \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}}. \quad (5)$$

Таким образом, для определения силы сдвига при известной степени деформации металла стружки необходимо знать зависимость $\sigma_i - e_i$ в процессе резания (для случая простого сдвига).

Гипотеза о единой кривой течения предполагает, что для упрочняющегося материала функциональная связь между интенсивностями напряжений и деформаций $\sigma_i = f(e_i)$ с практически достаточной точностью является единой, независимой от вида напряженно-деформированного состояния. Если использование этой гипотезы правомерно, то напряжение τ при резании можно определять по результатам статических испытаний обрабатываемого металла на растяжение или сжатие.

В лаборатории резания ТПИ была проведена экспериментальная проверка гипотезы о единой кривой течения в процессах резания (плоская деформация) и сжатия, растяжения (объемное напряженно-деформированное состояние) при практически одинаковых температурно-скоростных условиях деформирования.

Все исследования, в которых проверялось совпадение кривой течения при резании и сжатии, выполненные до настоящего времени, являются методически недостаточно корректными, поскольку с кривой течения, полученной при сжатии, сопоставлялась не кривая течения при резании, а лишь конечные характеристики деформации металла стружки при резании. Каждая из экспериментальных точек по резанию, характеризующая своими координатами σ_i и e_i , получалась либо при измененных режимах обработки и условиях резания, либо при различной геометрии режущей части инструмента.

Исследования деформации при резании методом делительных секток в сочетании с методом определения интенсивности напряжений измерением твердости [5] позволяют осуществить проверку гипотезы о единой кривой течения путем наложения на кривую $\sigma_i - e_i$, полученную в опытах по сжатию или растяжению, точек, характеризующих последовательно напряженно-деформированное состояние элементарного объема металла при его движении в пластической зоне стружкообразования от нижней до верхней ее границ.

При проведении испытаний на сжатие по методике, изложенной в работе [5], интенсивность напряжений определялась по формуле

$$\sigma_i = \frac{4P}{\pi \cdot D^2} \text{ кг/мм}^2,$$

где P — текущее значение сжимающей силы, в кг,
 D — текущее значение диаметра образца, в мм,
а интенсивность деформаций по формуле

$$e_i = \ln \frac{h_0}{h},$$

где h_0 и h — начальная и текущая высота образца.

При исследовании на листовой стали 15 зависимость $\sigma_i - e_i$ получалась испытанием на растяжение десяти образцов, доведенных в процессе испытания до различной степени деформации. Длина образцов при этом в 10 раз превышала ширину, что обеспечивало схему простого растяжения. Удлинение образца в процессе деформации Δl_0 фиксировалось расстоянием между рисками, нацарапанными на его поверхности. Интенсивность напряжений и деформаций определялась, соответственно, по формулам

$$\sigma_i = \frac{P}{F}, \quad e_i = \ln \frac{l_0 + \Delta l_0}{l_0},$$

либо, в случае образования шейки,

$$e_i = \ln \frac{F_0}{F}.$$

Здесь, l_0 — расстояние между рисками до деформации;

F_0 и F — исходные и минимальные текущие площади поперечного сечения образца.

По результатам испытания на сжатие (растяжение) были построены кривые течения $\sigma_i - e_i$ и графики $\sigma - H$ (твердость) для латуни Л62 и стали 15.

При резании на микроскоростях плоских образцов с предварительно намеченной делительной сеткой, приготовленных из этих металлов, были получены корни стружек.

На приборе ПМТ-3 была измерена твердость пластически деформированной зоны каждого из этих корней стружек и построены линии постоянных твердостей. С помощью тарировочного графика $\sigma_i - H$, полученного в опытах по сжатию, по измеренной твердости определялась величина σ_i в каждой точке пластически деформированной зоны. Интенсивность деформации каждой точки этой зоны рассчитывалась по искажению делительной сетки. Таким образом, для каждой точки пластически деформированной при резании зоны имелась и характеристика напряженного состояния — σ_i , и характеристика деформаций — e_i .

Поскольку в процессе сливного стружкообразования каждый ряд точек, параллельный до деформации направлению скорости резания, характеризует всю историю деформации точки на данном горизонте от начала пластической деформации до верхней границы пластической зоны, то кривая течения при резании строилась по характеристикам отдельных точек такого ряда или нескольких рядов.

На рис. 1 сплошной линией представлена кривая течения, полученная при испытании стали 15 на растяжение, экспериментальные точки описывают кривые течения при резании для частиц металла, расположенных на различных горизонтах по толщине снимаемого слоя.

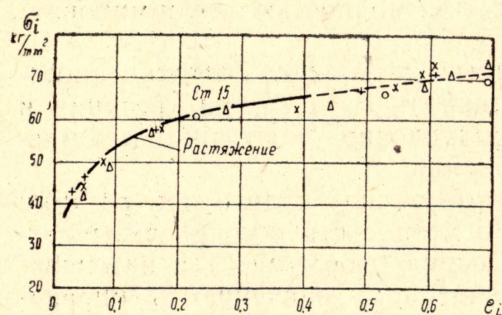


Рис. 1.

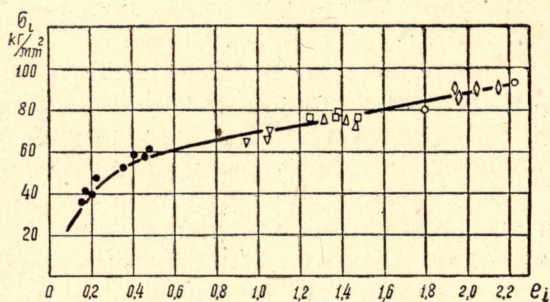


Рис. 2

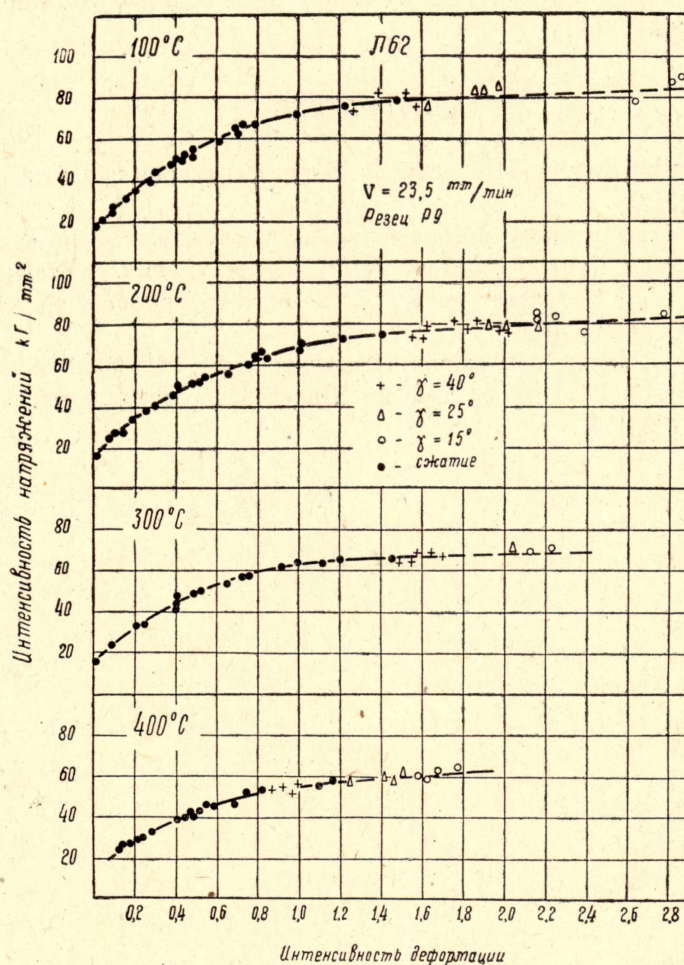


Рис. 3

На рис. 2 на кривую течения при сжатии латуни Л62 (сплошная линия) наложены характеристики точек одного ряда корня стружки (темные точки), а также точки (светлые), характеризующие конечную степень деформации стружек, снятых при резании на микроскорости резцами различной геометрии и при различных смазках. Для последних точек σ_i рассчитывалась по силам, измеренным с помощью динамометра конструкции ВНИИ, а ϵ_i по усадке стружки. Аналогичные результаты были получены и в специальной серии опытов по сжатию и резанию латуни Л62, при повышенной температуре испытаний (рис. 3). Экспериментальные (светлые) точки по резанию на рис. 3 характери-

зуют также лишь конечную связь $\sigma_i - e_i$ для полностью деформированного материала стружки.

Описанные экспериментальные данные позволяют считать гипотезу о единстве кривой течения в координатах $\sigma_i - e_i$ при резании и сжатии (растяжении) справедливой при условии постоянства температурно-скоростного режима деформирования.

Этот вывод дает возможность рассчитать силу сдвига при резании на микроскорости следующим путем. По усадке стружки рассчитывается угол Φ (формула 2), относительный сдвиг (формула 3) и интенсивность деформации (формула 4). По найденному значению e_i определяется σ_i по кривой течения, построенной при испытании на сжатие (растяжение), что позволяет, используя равенство (5), определить величину касательного напряжения, а следовательно, и рассчитать силу сдвига по формуле (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Элементы теории процесса резания металлов. Машгиз, М., 1956.
 2. И. П. Ренне. К вопросу учета способа нагружения при анализе деформированного состояния. Труды Тульского механического института, вып. 8, Оборонгиз, М., 1958.
 3. В. Г. Осипов. О характеристиках конечных деформаций, сб. «Проблемы металлургии», АН СССР, М., 1953.
 4. Л. М. Качанов. Основы теории пластичности. М., ГИТТЛ, 1956.
 5. Г. Д. Дель, М. Г. Гольдшмидт. Определение напряжений в зоне резания. Известия ТПИ, т. 162, 1967.
-